M121

IMPORTANT NOTE CONCERNING THE FOLLOWING PAGES

THE PAGES WHICH FOLLOW HAVE BEEN FILMED TWICE IN ORDER TO OBTAIN THE BEST REPRODUCTIVE QUALITY

USERS SHOULD CONSULT ALL THE PAGES REPRODUCED ON THE FICHE IN ORDER TO OBTAIN A COMPLETE READING OF THE TEXT.

REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES PAGES QUI SUIVENT

LES PAGES SUIVANTES ONT ÉTÉ REPRODUITES EN DOUBLE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE REPRODUCTION

LES UTILISATEURS DOIVENT CONSULTER TOUTES LES PAGES REPRODUITES SUR LA FICHE AFIN D'OBTENIR LA LECTURE DU TEXTE INTÉGRAL

Micromedia
ProQuest

20 Victoria Street
Toronto, Ontario M5C 2N8
Tel.: (416) 362-5211
Toll Free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161
Email: info@micromedia.on.ca

Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science

S C C S | **C S A S**

Secrétariat canadien de consultation scientifique | **Canadian Science Advisory Secretariat**

Document de recherche 2002/060 | **Research Document 2002/060**

Ne pas citer sans
Autorisation des auteurs * | Not to be cited without
permission of the authors *

Projections à long terme dans un contexte d'Approche de Précaution pour le hareng (*Clupea harengus harengus*) de la côte ouest de Terre-Neuve (Division 4R de l'OPANO)

Long-term projections in a Precautionary Approach context for the herring (*Clupea harengus harengus*) of the West Coast of Newfoundland (NAFO Division 4R)

François Grégoire et / and Denis Rivard[1]

Direction des poissons et des mammifères marins / Fish and Marine Mammals Branch
Ministère des Pêches et des Océans / Department of Fisheries and Oceans
Institut Maurice-Lamontagne / Maurice Lamontagne Institute
850, Route de la Mer
Mont-Joli, Québec
G5H 3Z4

[1] Direction de la Recherche sur les Pêches / Fisheries Research Branch
Ministère des Pêches et des Océans / Department of Fisheries and Oceans
200, Rue Kent
Ottawa, Ontario
K1A 0E6

* La présente série documente les bases scientifiques des évaluations des ressources halieutiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

* This series documents the scientific basis for the evaluation of fisheries resources in Canada. As such, it addresses the issues of the day in the time frames required and the documents it contains are not intended as definitive statements on the subjects addressed but rather as progress reports on ongoing investigations.

Research documents are produced in the official language in which they are provided to the Secretariat.

Ce document est disponible sur l'Internet à: | This document is available on the Internet at:
http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/

ISSN 1480-4883
© Sa majesté la Reine, Chef du Canada, 2002
© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2002
Canada

Résumé

Dans un contexte d'Approche de Précaution, nous avons réalisé des simulations pour déterminer le nombre d'années nécessaires à l'atteinte du niveau de référence B_{lim} chez le stock des harengs (*Clupea harengus harengus*) de printemps de la côte ouest de Terre-Neuve. Trois stratégies de capture ont été modélisées, soit **Général**, de l'**OPANO** (**O**rganisation des **P**êches de l'**A**tlantique du **N**ord-**O**uest) et du **CIEM** (**C**onseil **I**nternational pour l'**E**xploration de la **M**er). Quelque soit la stratégie utilisée, les résultats indiquent que la biomasse reproductrice de ce stock augmenterait rapidement après quelques années seulement et se stabiliserait par la suite. Les captures à long terme les plus importantes seraient réalisées selon l'approche préconisée par le **CIEM**. Cependant, l'approche la plus conservatrice, en terme de biomasse reproductrice, serait celle suggérée par l'**OPANO**. Les résultats indiquent aussi que ces trois approches assureraient une biomasse reproductrice à long terme plus élevée que l'utilisation du niveau de référence $F_{0.1}$ qui a été utilisé jusqu'à maintenant par le MPO pour déterminer les niveaux cibles de capture du hareng.

Abstract

In the context of the Precautionary Approach, simulations were conducted to determine how many years it would take for spring-spawning herring (*Clupea harengus harengus*) of Newfoundland's west coast to reach the B_{lim} reference level. Three harvesting strategy models were developed: the **General** model, the **NAFO** (**N**orth **A**tlantic **F**isheries **O**rganization) model and the **ICES** (**I**nternational **C**ouncil for the **E**xploration of the **S**ea) model. Regardless of the strategy adopted, the findings indicate that the stock's spawning biomass would increase rapidly after only a few years and then stabilize. The **ICES** model projected the highest landings in the long term. However, the **NAFO** model was the most conservative approach in terms of spawning biomass. The findings also show that these three approaches would ensure a higher biomass in the long term than the $F_{0.1}$ reference level, which DFO has used until now to determine harvesting level targets for herring.

INTRODUCTION

Contrairement à d'autres populations de hareng (*Clupea harengus harengus*) que l'on retrouve ailleurs dans l'Atlantique Nord, celle de la côte ouest de Terre-Neuve se caractérise par la présence de deux stocks reproducteurs (printemps et automne) dont l'abondance relative est mesurée à l'aide d'un relevé acoustique bisannuel (McQuinn et Lefebvre, 1999). L'abondance relative des reproducteurs de printemps est aussi évaluée à partir des prises par unité d'effort (PUE) d'une pêche au filet maillant (Grégoire et Lefebvre, 2002) qui est pratiquée dans la baie St-George (zone unitaire 4Rd) (Figure 1). Ces deux indices d'abondance sont utilisés dans une Analyse Séquentielle des Populations (**ASP**) et une Analyse de Risque dans le but de calculer la mortalité par la pêche de même que les rendements et les changements de biomasse projetés selon différents niveaux d'exploitation.

La dernière évaluation analytique des stocks de hareng de la côte ouest de Terre-Neuve (McQuinn *et al.*, 1999) confirme à nouveau le déclin déjà observé de l'abondance des reproducteurs de printemps. Une biomasse reproductrice de seulement 14 000 t a été mesurée en 1999 ce qui est bien inférieur à la limite minimale acceptable ($\mathbf{B_{lim}}$) de 37 829 t (McQuinn *et al.*, 1999). Selon la même évaluation, les débarquements projetés à $\mathbf{F_{0.1}}$ pour la saison 2000 ne seraient que de 3 400 t. La situation de ce stock est précaire et les objectifs immédiats qui le concernent sont axés prioritairement sur sa reconstruction. À cet effet, des mesures de gestion sont déjà en application (DFO, 2000).

Des études récentes (Rivard *et al.*, 1999a, 1999b) proposent l'utilisation de simulations pour évaluer le nombre d'années nécessaires

INTRODUCTION

Unlike other herring (*Clupea harengus harengus*) populations found elsewhere in the North Atlantic, the herring population of the west coast of Newfoundland is characterized by the occurrence of two spawning stocks (spring and fall), whose relative abundance is assessed using a biennial acoustic survey (McQuinn and Lefebvre, 1999). The relative abundance of spring spawners is also based on the catch per unit effort (CPUE) from a gillnet fishery (Grégoire and Lefebvre, 2002) in St. George's Bay (Unit Area 4Rd) (Figure 1). These two abundance indices are used in the Sequential Population Analysis (**SPA**) and Risk Analysis in order to determine fishing mortality, yields and projected changes in biomass for various harvesting levels.

The most recent analytical assessment of herring stocks of the west coast of Newfoundland (McQuinn *et al.*, 1999) confirmed again the decline already observed in the abundance of spring spawners. A spawning biomass of only 14,000 t was recorded in 1999, which is significantly below the acceptable minimum limit ($\mathbf{B_{lim}}$) of 37,829 t (McQuinn *et al.*, 1999). The same assessment revealed that projected $\mathbf{F_{0.1}}$ landings for the 2000 fishing season would total only 3,400 t. The situation of this stock is precarious, and immediate objectives are focussed on its rebuilding. Management measures have already been implemented for that purpose (DFO, 2000).

Recent studies (Rivard *et al.*, 1999a, 1999b) propose that simulations be conducted to assess how long it would take to rebuild a

à la reconstruction d'un stock. Ces simulations tiennent compte à la fois de la précision associée aux estimations d'abondance et de la relation entre un stock et ses recrues.

L'objectif de la présente étude était d'utiliser le même type de simulations pour évaluer, selon différentes stratégies de capture, le nombre d'années nécessaires à l'atteinte du niveau de référence $\mathbf{B_{lim}}$ pour le stock des harengs de printemps de la côte ouest de Terre-Neuve.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Données d'entrée

Les données de base utilisées dans les simulations sont les nombres à l'âge et leurs coefficients de variation, ajustés pour le biais et projetés par **ADAPT** (Gavaris, 1999) pour la saison de pêche 2000 (Ian McQuinn, comm. pers.), et les moyennes annuelles (1965-1999) des poids, du recrutement partiel et de la maturité des groupes d'âge 4 à 11^+ inclusivement (Tableau 1). Les poids à l'âge ont été calculés à partir des échantillons commerciaux provenant de la pêche automnale (quatrième trimestre) à la senne bourse. Cette période a été choisie puisqu'elle représente le moment de l'année qui est le mieux couvert par l'échantillonnage commercial (McQuinn *et al.*, 1999). Les valeurs du recrutement partiel (normalisé à l'unité) ont été calculées à partir des mortalités par la pêche produites par **ADAPT**. Les données de maturité à l'âge ont été tirées des débarquements de la pêche à la senne bourse réalisée lors du second trimestre. Les poids et les maturités à l'âge ont permis de convertir les nombres à l'âge en biomasse totale et biomasse reproductrice à l'âge.

stock. These simulations take into account both the accuracy of abundance estimates and the relationship between a stock and its recruits.

The purpose of this study was to use the same type of simulations to determine how many years it would take for spring-spawning herring of the west coast of Newfoundland to reach the $\mathbf{B_{lim}}$ reference level, depending on different harvesting strategies.

MATERIAL AND METHODS

Input data

The basic data used in the simulations were the numbers at age and their variation coefficients adjusted for bias and projected by **ADAPT** (Gavaris, 1999) for the 2000 fishing season (Ian McQuinn, pers. comm.), and annual averages (1965–1999) for weight, partial recruitment and maturity for age groups 4 to 11^+, inclusively (Table 1). Weight at age was calculated using data from commercial samples provided by the fall (fourth quarter) purse seine fishery; commercial sampling coverage is most complete in the fall (McQuinn *et al.*, 1999). **ADAPT** fishing mortality statistics were used to calculate partial recruitment values (normalized to unity). Data on maturity at age were taken from purse seine fishery landings made during the second quarter. Data on weight and maturity at age were used to convert numbers at age to total biomass and spawning biomass at age.

Simulations

Les simulations ont été effectuées à l'aide d'une feuille de travail Excel permettant de réaliser des projections à long terme (Rivard, 2000). Cette feuille utilise @Risk (Anonyme, 2001), une routine d'Excel qui permet d'inclure aux projections une analyse de risque, de définir des distributions de probabilités pour les variables d'entrée et d'analyser les distributions associées aux résultats. @Risk permet aussi de réaliser des projections de biomasses et de rendements selon des mortalités par pêche qui peuvent être constantes d'une année à l'autre ou évoluer selon des règles de gestion associées à l'Approche de Précaution définie par Rivard (2000).

Simulations

To realise long-term projections, simulations were made using an Excel spreadsheet (Rivard, 2000). This spreadsheet uses @Risk (Anonymous, 2001), an Excel add-in that allows users to include a probability analysis in their projections, define probability distributions for input variables and analyse distributions related to results. @Risk also allows users to make biomass and yield projections based on fishing mortality data, which can be constant from year to year or vary in accordance with the management rules associated with Rivard's Precautionary Approach (2000).

Relation stock recrutement

Les projections à long terme sont très sensibles à la relation existant entre un stock et ses recrues. Cette relation est parfois difficile à modéliser. Dans le cas présent, une approche non paramétrique a été utilisée pour conserver la dynamique et la variabilité reliant l'abondance du stock à ses recrues (Rivard, 2000). À cette fin, les données de biomasses reproductrices de hareng mesurées entre 1965 et 1996 par l'**ASP** (Tableau 2) ont été regroupées en quartile (Annexe 1). Lors d'une simulation, le choix d'un quartile a été basé sur la valeur de la biomasse reproductrice obtenue lors de la simulation précédente. Le recrutement utilisé dans la simulation suivante a été déterminé après avoir ré-échantillonné (bootstrap) toutes les valeurs de recrutement associées au quartile choisi.

Stock–recruitment relationship

Long-term projections depend greatly on the relationship between a stock and its recruits. This relationship is sometimes difficult to model. In this case, a non-parametric approach was used to preserve the dynamics and variability between the stock's abundance and the stock's recruits (Rivard, 2000). To this end, data on spawning herring biomass assessed between 1965 and 1996 through the **SPA** (Table 2) were divided into quartiles (Appendix 1). The selection of quartiles during simulations was based on the value of the spawning biomass obtained during the previous simulation. Recruitment data used in the following simulation were determined after bootstrapping all recruitment values related to the quartile selected.

Niveaux de référence

Pour chacune des années projetées, l'application d'une valeur de la mortalité par la pêche a été réalisée en suivant des règles précises. Ces règles sont basées sur la relation entre les valeurs courantes de la mortalité par la pêche et de la biomasse reproductrice par rapport à différents niveaux de références. Dans le cas du hareng de la côte ouest de Terre-Neuve, ces niveaux ont été définis comme suit (McQuinn *et al.*, 1999) :

Reference levels

For each year projected, fishing mortality values were applied according to specific rules. These rules are based on the relationship between current fishing mortality values and spawning biomass data, compared with various reference levels. In the case of herring of the west coast of Newfoundland, these levels were defined as follows (McQuinn *et al.*, 1999):

$\mathbf{B_{lim}}$ = 37 829 t, soit 20 % de la biomasse reproductrice maximale de toute la série historique

$\mathbf{B_{buf}}$ = 57 443 t, c'est-à-dire la biomasse reproductrice qui a produit la dernière classe d'âge abondante

$\mathbf{F_{buf}}$ = 0.30, la moyenne à long terme de $\mathbf{F_{0.1}}$

$\mathbf{F_{lim}}$ = 0.36, la seconde valeur la plus élevée (pour les 5^+) de toute la série historique

$\mathbf{B_{lim}}$ = 37,829 t, i.e. 20% of the largest spawning stock biomass in the entire time series

$\mathbf{B_{buf}}$ = 57,443 t, i.e. the spawning stock biomass that produced the last abundant year-class

$\mathbf{F_{buf}}$ = 0.30, the long-term average of $\mathbf{F_{0.1}}$

$\mathbf{F_{lim}}$ = 0.36, the second highest value (for the 5^+) in the entire time series

et les biomasses ($\mathbf{B_{tar}}$) et les mortalités par la pêche ($\mathbf{F_{tar}}$) cibles de la façon suivante:

and target biomass ($\mathbf{B_{tar}}$) and fishing mortality ($\mathbf{F_{tar}}$) were defined as follows:

$\mathbf{B_{tar}}$ = 114 886 t ($\mathbf{B_{buf}}$ x 2)

$\mathbf{F_{tar}}$ = 0.24 (80 % de $\mathbf{F_{buf}}$)

$\mathbf{B_{tar}}$ = 114,886 t ($\mathbf{B_{buf}}$ x 2)

$\mathbf{F_{tar}}$ = 0.24 (80% of $\mathbf{F_{buf}}$)

De plus, la valeur maximale de **F** à $\mathbf{B_{buf}}$ a été définie comme étant 50 % de celle de $\mathbf{F_{buf}}$, soit 0.15 et celle de **F** pour des biomasses plus petites que $\mathbf{B_{lim}}$, à 0.025. Cette valeur pourrait être associée à des prises

In addition, the maximum value of **F** at $\mathbf{B_{buf}}$ was defined as being 50% of $\mathbf{F_{buf}}$ (i.e. 0.15) and value of **F** for biomasses less than $\mathbf{B_{lim}}$ as 0.025. This value could be associated with herring by-catches made when the

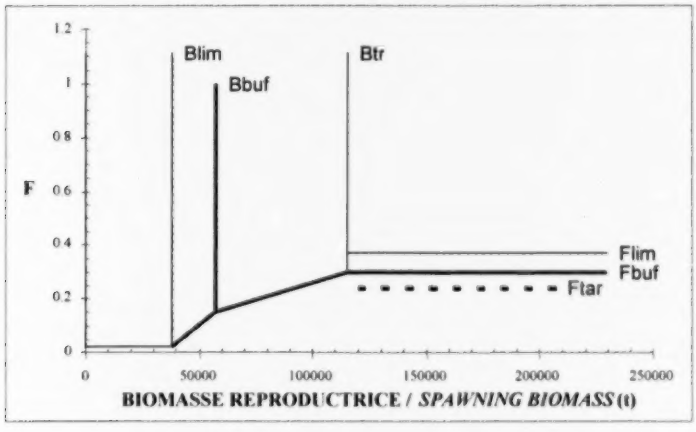
accessoires de hareng réalisées en périodes de fermeture de la pêche.

fishery is closed.

Ces niveaux de références, qui sont associés au modèle **Général** de l'Approche de Précaution (Rivard, 2000), sont présentés dans la figure suivante :

These reference levels, which are related to the Precautionary Approach's **General** model (Rivard, 2000) are shown in the following figure:

MODÈLE GÉNÉRAL DE L'APPROCHE DE PRÉCAUTION /
GENERAL MODEL OF THE PRECAUTIONARY APPROACH



Les projections ont aussi été réalisées en suivant les modèles de l'**O**rganisation des **P**êches de l'**A**tlantique du **N**ord-**O**uest (**OPANO**) et du **C**onseil **I**nternational pour l'**E**xploration de la **M**er (**CIEM**). Ces deux approchent se différencient du modèle **Général** en ce qui a trait à la définition des niveaux de référence suivants :

Projections were also made using the **N**orthwest **A**tlantic **F**ishery **O**rganization (**NAFO**) and the **I**nternational **C**ouncil for the **E**xploration of the **S**ea (**ICES**) models. These two approaches differ from the **General** model in how the following reference levels are defined:

OPANO

$F_{buf} = F_{lim} \times (B_{lim}+1) / (B_{buf}+1)$

$B_{tar} = B_{buf} \times 2$

F_{tar} = 80% de F_{buf}

NAFO

$F_{buf} = F_{lim} \times (B_{lim}+1) / (B_{buf}+1)$

$B_{tar} = B_{buf} \times 2$

F_{tar} = 80% of F_{buf}

et une valeur de 0 pour **F** lorsque la biomasse reproductrice est inférieure à $\mathbf{B_{lim}}$ et pour celle du F à $\mathbf{B_{buf}}$.

CIEM

$\mathbf{F_{buf} = F_{lim} \times (B_{lim}+1) / (B_{buf}+1)}$

$\mathbf{B_{tar} = B_{buf}}$

$\mathbf{F_{tar} = F_{buf}}$

et une valeur de 0 pour **F** lorsque la biomasse reproductrice est inférieure à $\mathbf{B_{lim}}$ et une valeur de **F** à $\mathbf{B_{buf}}$ égale à $\mathbf{F_{buf}}$

and a value of **F** = 0 when the spawning biomass is less than $\mathbf{B_{lim}}$ and for the value of **F** at $\mathbf{B_{buf}}$.

ICES

$\mathbf{F_{buf} = F_{lim} \times (B_{lim}+1) / (B_{buf}+1)}$

$\mathbf{B_{tar} = B_{buf}}$

$\mathbf{F_{tar} = F_{buf}}$

and **F** = 0 when the spawning biomass is less than $\mathbf{B_{lim}}$ and a value of **F** at $\mathbf{B_{buf}}$ of $\mathbf{F_{buf}}$.

RÉSULTATS

Les projections réalisées selon le modèle **Général** de l'Approche de Précaution indiquent que la biomasse reproductrice des harengs de printemps passerait entre 2000 et 2005 de 28 319 t à 79 727 t et les rendements, de 482 t à 7 181 t (Tableau 3). Pour la même période, les valeurs de **F** appliquées aux poissons des groupes d'âge de 6 à 9 ans passeraient de 0.02 à 0.11, à 0.12 entre 2006 et 2011 et à 0.11 par la suite (Figure 2a). Après 2011, les biomasses totales et reproductrices seraient à un peu plus de 86 000 t et 83 000 t respectivement, et les rendements à 8 000 t (Tableau 3; Figures 2b, 2c et 2d).

Selon le modèle de l'**OPANO**, les biomasses reproductrices passeraient de 28 149 t en 2000 à 86 209 t en 2005 (Tableau 3). Après 2011, les valeurs de **F** se stabiliseraient à 0.06, les biomasses totales et reproductrices aux environs de 94 000 t et 91 000 t respectivement, et les rendements, à environ 5 700 t (Tableau 3; Figures 3a, 3b, 3c et 3d).

RESULTS

Projections made using the **General** model of the Precautionary Approach indicate that, between 2000 and 2005, the spawning biomass of spring-spawning herring increased from 28,319 t to 79,727 t and yields increased from 482 t to 7,181 t (Table 3). For the same period, **F** values applied to herring of age groups 6, 7, 8 and 9 would increase from 0.02 to 0.11, to 0.12 between 2006 and 2011, and to 0.11 thereafter (Figure 2a). After 2011, total and spawning biomasses would total approximately 86,000 t and 83,000 t respectively, and yields would total 8,000 t (Table 3; Figures 2b, 2c and 2d).

According to the **NAFO** model, spawning biomasses would increase from 28,149 t in 2000 to 86,209 t in 2005 (Table 3). After 2011, **F** values would stabilize at 0.06, total and spawning biomasses would be approximately 94,000 t and 91,000 t, respectively, and yields would total approximately 5,700 t (Table 3; Figures 3a, 3b, 3c and 3d).

Des projections réalisées selon le modèle du **CIEM** résulteraient en des valeurs à long terme de **F** de 0.12 (Figure 4a) et des biomasses reproductrices et totales d'environ 82 000 t et 85 000 t respectivement et des rendements à 8 500 t (Tableau 3; Figures 4b, 4c et 4d).

The **ICES** model projected long-term **F** values of 0.12 (Figure 4a), and spawning and total biomasses of 82,000 t and 85,000 t, respectively, and yields totalling 8,500 t (Table 3; Figures 4b, 4c and 4d).

Des trois modèles utilisés, celui du **CIEM** serait responsable des valeurs à long terme de **F** les plus élevées mais des biomasses reproductrices les plus faibles (Figures 5a et 5b). Par rapport aux deux autres modèles, celui du **CIEM** produirait les meilleurs rendements à long terme (Figure 5c). L'approche la plus conservatrice serait celle de l'**OPANO** qui permettrait d'obtenir à long terme les biomasses reproductrices les plus élevées.

Of the three models used, the **ICES** model projected the highest long-term **F** values, but the lowest spawning biomasses (Figures 5a and 5b). Compared with the other two models, the **ICES** model would produce greater yields in the long term (Figure 5c). The **NAFO** approach is the most conservative, projecting the highest spawning biomasses in the long term.

DISCUSSION

DISCUSSION

La présente étude indique que la biomasse reproductrice des harengs de printemps de la côte ouest de Terre-Neuve augmenterait très rapidement selon l'une ou l'autre des stratégies de capture adoptée lors des simulations. Les biomasses reproductrices associées aux niveaux de référence $\mathbf{B_{lim}}$ et $\mathbf{B_{buf}}$ seraient atteintes après quelques années seulement. La stratégie de capture la plus conservatrice, en terme d'abondance pour ce stock, serait celle de l'**OPANO** tandis que l'approche du **CIEM** permettrait d'obtenir à long terme les plus importantes captures.

This study indicates that the spawning biomass of spring-spawning herring of the west coast of Newfoundland would increase very rapidly, based on all three of the harvesting strategies adopted during the simulations. The spawning biomasses related to the $\mathbf{B_{lim}}$ and $\mathbf{B_{buf}}$ reference levels would be reached after only a few years. The most conservative strategy in terms of stock abundance was the **NAFO** approach, while the **ICES** approach projected the highest landings in the long term.

Par rapport à ces stratégies, celle du niveau de référence $\mathbf{F_{0.1}}$ qui représente l'une des stratégies de capture les plus couramment utilisée, serait responsable des plus faibles biomasses reproductrices mais des meilleurs rendements (Figures 5c et 5d). L'écart des biomasses entre ce niveau de référence et celui de l'**OPANO,** qui est le plus conservateur, serait d'environ 14 000 t.

Compared with these strategies, the $\mathbf{F_{0.1}}$ reference level strategy, which is one of the most commonly used harvesting strategies, would produce the weakest spawning biomasses, but the highest yields (Figures 5c and 5d). The gap between the $\mathbf{F_{0.1}}$ biomass and the **NAFO** biomass, which is more conservative, is around 14,000 t.

Aucune des stratégies de capture ne permettrait d'atteindre le niveau de référence B_{tar} tel que défini par le modèle **Général**. Une valeur plus réaliste pourrait se situer quelque part entre cette valeur du B_{tar} et celle proposée par l'approche du **CIEM**. Alternativement, ceci pourrait indiquer une valeur de F_{tar} trop élevée et non calibrée pour donner une valeur moyenne à long terme de B_{tar}.

None of the harvesting strategies would result in the B_{tar} reference level (as defined by the **General** model) being reached. A more realistic value could range somewhere between the B_{tar} value and the value proposed by the **ICES** approach. Alternatively, this could indicate an excessively high and uncalibrated F_{tar} value to produce a long-term mean B_{tar} value.

Par rapport à $F_{0.1}$, les stratégies basées sur une approche de précaution offrent une sécurité additionnelle lorsque le stock s'approche des biomasses limites. Ces stratégies misent sur une réduction de la mortalité par pêche lorsque l'on s'approche de la limite pour favoriser un rétablissement de la biomasse vers des valeurs plus acceptables et propices à une exploitation soutenable. De ce fait, ces stratégies devraient être plus robustes aux erreurs de mise en œuvre (e.g. dépassement du TAC, statistiques de prise imprécises, variabilité des évaluations, etc.) et aux fluctuations de productivité des stocks qu'une stratégie plus simple comme celle de $F_{0.1}$ qui pourrait permettre la continuation d'une pêche même à de très faibles niveaux d'abondance.

In comparison with $F_{0.1}$, strategies based on a precautionary approach provide an additional safeguard when the stock is near limit biomass levels. These strategies rely on the reduction of fishing mortality when the stock is near limit levels to favour the biomass's recovery to more acceptable levels that are conducive to sustainable harvesting. These strategies should be less susceptible to implementation errors (e.g. surpassing TAC, inaccurate catch statistics, variability of assessments, etc.) and stock productivity fluctuations than simpler strategies, such as the $F_{0.1}$ strategy that could allow a fishery to remain open even when abundance levels are very low.

Une approximation du rendement et de la biomasse à l'équilibre pourrait être calculée par le même type de simulations en utilisant pour chacune des années projetées une valeur constante de **F**. Cependant, dans le cas du hareng, des résultats préliminaires ont démontré que ce type d'exercice était plutôt sensible à la relation stock-recrutement. Par exemple, en raison d'une valeur très élevée du recrutement présente dans le premier quartile (Annexe 1), des valeurs non réelles de **F** de l'ordre de 1.5 et plus seraient nécessaires pour faire diminuer significativement l'abondance du stock. La situation inverse pourrait aussi se présenter.

The same type of simulations could be conducted to calculate approximate yield and equilibrium biomass by using a constant **F** value for each projected year. However, in the case of herring, preliminary findings showed that this type of exercise was rather dependent on the stock–recruitment relationship. For instance, because of a very high recruitment value in the first quarter (Appendix 1), non-real **F** values of 1.5 or more would be needed to significantly reduce the stock's abundance. The opposite could also occur. For stocks whose abundance would be in the first quartile, very low recruitment values in the same

Pour un stock dont l'abondance se situerait dans le premier quartile, de très faibles valeurs du recrutement dans ce même quartile résulteraient à des projections d'abondance qui ne démontreraient aucun signe de reconstruction. Des travaux sont en cours pour corriger ce type de problème.

quartile would result in abundance projections that failed to indicate a recovery. This problem is currently being corrected.

Les projections à long terme ont été réalisées en tenant compte des incertitudes associées à certains paramètres de départ et au particularités de la relation stock-recrutement. Les résultats obtenus peuvent être différents de la réalité puisqu'il existe d'autres sources d'incertitudes associées à d'autres paramètres (e.g. croissance) et à la dynamique d'un stock lorsque l'abondance de celui-ci se situe à des niveaux très bas ou très élevés. Pour cette raison, lorsque des projections à long terme sont utilisées pour évaluer la réponse d'un stock à différents patrons d'exploitation, comme dans le cas présent, les résultats devraient être interprétés en termes relatifs et non absolus.

Long-term projections were made by taking into account uncertainties related to certain starting points and characteristics of the stock–recruitment relationship. Results obtained can differ from reality because of other existing sources of uncertainty associated with other parameters (e.g. growth) and with the dynamics of a stock when its abundance level is very low or very high. For this reason, results should be interpreted in relative, not absolute, terms when long-term projections are used to assess a stock's response to various fishing patterns, as is the case with herring.

REMERCIEMENTS

De très sincères remerciements sont exprimés à l'égard du Dr. Jacques A. Gagné et du Dr. Martin Castonguay pour la révision du document.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our deepest thanks to Dr. Jacques A. Gagné and Dr. Martin Castonguay for reviewing this study.

RÉFÉRENCES / *REFERENCES*

Anon. 2001. @Risk – Advanced Risk Analyses for spreadsheets. Version 4.5. Palisade Corporation, Newfield, NY. USA. 498 pages (http://www.palisade.com).

DFO. 2000. 2000-2002 Herring integrated fisheries management plan for the west coast of Newfoundland and Labrador Straits (NAFO Division 4R). DFO Newfoundland Region. 20 p.

Gavaris, S. 1999. ADAPT (ADAPTive Framework) User's Guide Version 2.1. DFO. St. Andrews Biological Station, St. Andrews, N.B., Canada. 25 p.

Grégoire, F. et L. Lefebvre. 2002. Évaluation analytique et analyses de risque pour le stock de hareng (*Clupea harengus harengus*) de printemps de la côte ouest de Terre-Neuve (Division 4R de l'OPANO) en 2001. SCCS Secrétariat canadien de consultation scientifique. Document de recherche 2002/059. 61 p.

McQuinn, I. H., and L. Lefebvre. 1999. An evaluation of the western Newfoundland herring acoustic abundance index from 1989 to 1997. DFO Atl. Fish. Res. Doc. 99/120, 20p.

McQuinn, I. H., M. Hammil and L. Lefebvre. 1999. An assessment and risk projections of the west coast of Newfoundland (NAFO division 4R) herring stocks (1965 to 2000). CSAS Research Document 99/119, 94p.

Rivard, D., J. Morgan, D. Stansbury and W. Brodie. 1999a. Evaluating the impact of by-catch on the recovery of American Plaice on the Newfoundland Grand Banks (NAFO Divisions 3LNO). NAFO SCR Doc. 99/69.

Rivard, D., P. Shelton and D. Stansbury. 1999b. Evaluating recovery time from long-term projections including uncertainties: an example for cod on southern Grand Banks (NAFO Divisions 3NO). NAFO SCR Doc. 99/67.

Rivard, D. 2000. Stochastic projections in the context of the Precautionary Approach. NAFO SCR Doc. 00/59.

Tableau 1. Paramètres d'entrée* utilisés pour les projections à long terme des harengs de printemps de la côte ouest de Terre-Neuve.

Table 1. Long-term projection input parameters for spring-spawning herring of the west coast of Newfoundland.*

ÂGE / *AGE*	NOMBRE / *NUMBER*** ('000)	C.V.	ERREUR TYPE / *STANDARD ERROR*	POIDS À L'ÂGE / *WEIGHT AT AGE* (1965-1999) (Milieu de l'année / *Mid-Year*) (kg)	(Début d'année / *Start of the year*) (kg)	PR**** (1965-1999)	MATURITÉ / *MATURITY* (1965-1999)
4	44 600	1.611***	71851	0.239	0.225	0.250	0.839
5	23 650	0.546	12 913	0.281	0.265	0.354	0.981
6	28 070	0.491	13 782	0.317	0.298	0.462	1.000
7	1 061	0.474	503	0.348	0.328	0.568	1.000
8	2 137	0.433	925	0.374	0.355	0.734	1.000
9	1 444	0.556	803	0.400	0.377	0.817	1.000
10	5 791	0.479	2 774	0.420	0.395	1.000	1.000
11+	3 226	0.398	1 284	0.444	0.425	1.000	1.000

* I. McQuinn, comm. pers. / *pers. comm.*

** de ADAPT / *From ADAPT*

*** Fixé à 0.99 lors des simulations / Set *at 0.99 during the simulations*

**** Recrutement partiel / *Partial recruitment*

Tableau 2. Résultats de l'évaluation analytique par ADAPT* pour les harengs du groupe reproducteur de printemps de la division 4R de l'OPANO.

Table 2. Results of the ADAPT analytical assessment for spring-spawning herring of NAFO Division 4R.*

ANNÉE / *YEAR*	F (5+ Pond./ *5+ Wgt*)	BSR / *SSB (t)* ** (2-11+)	NSR / *SSN* *** (2-11+)	RECRUES / *RECRUITS* (4 ans / *year*)	POP. NUMBER / *POP. SIZE* (2-11+)	BIOMASSE / *BIOMASS (t)* (2-11+)	RENDEMENT / *YIELD* (t)
1965	0.1035	43 357	150 749	101 963	342 481	72 985	2 045
1966	0.1177	53 611	179 671	43 305	330 031	77 790	4 174
1967	0.1052	66 873	222 209	81 894	337 885	83 078	3 613
1968	0.0466	60 579	204 401	36 930	425 226	92 094	2 082
1969	0.0458	61 816	221 522	52 407	417 458	96 655	2 745
1970	0.0223	81 955	276 817	103 938	1 135 116	178 528	1 389
1971	0.0287	85 156	369 446	49 168	1 260 761	207 127	2 451
1972	0.0506	157 328	651 183	534 697	1 085 774	234 673	4 703
1973	0.0984	189 146	754 828	224 960	888 622	214 631	15 328
1974	0.0259	182 772	654 094	40 376	714 170	193 217	4 341
1975	0.0234	166 416	548 884	9 228	596 397	173 917	3 867
1976	0.0701	135 306	455 369	22 244	619 537	159 677	9 509
1977	0.0974	127 494	377 137	16 226	513 322	153 509	9 908
1978	0.1384	123 434	350 560	94 781	408 639	135 744	12 144
1979	0.1652	108 042	293 521	21 211	323 716	113 425	14 164
1980	0.2337	98 275	227 552	10 408	250 414	102 700	15 272
1981	0.2082	69 879	172 187	12 284	249 331	82 099	11 666
1982	0.3317	57 443	156 171	12 352	554 727	110 929	12 499
1983	0.2738	51 764	158 119	51 335	511 711	115 015	8 442
1984	0.1615	77 573	267 792	247 623	849 648	160 455	6 866
1985	0.1340	97 948	321 116	56 035	775 862	175 696	10 716
1986	0.2181	148 108	539 892	297 413	677 855	171 296	18 180
1987	0.1059	144 637	447 272	63 165	559 821	165 167	12 023
1988	0.1464	129 731	389 378	48 950	451 558	141 406	15 656
1989	0.1724	113 766	315 494	36 441	476 030	137 233	15 181
1990	0.2025	101 320	311 477	17 406	397 461	114 675	15 289
1991	0.3627	88 061	256 125	94 150	351 678	105 471	20 433
1992	0.2555	58 936	180 592	27 198	358 176	82 535	12 857
1993	0.3072	58 808	204 988	38 978	291 121	72 153	11 969
1994	0.2040	54 979	194 177	78 643	219 903	58 742	6 655
1995	0.2899	45 951	157 278	18 866	166 552	47 264	10 683
1996	0.2884	34 269	106 238	7 622	196 538	44 143	7 619
1997	0.2879	28 807	106 895	2 945	188 800	40 079	5 624
1998	0.5495	26 951	121 782	56 577	209 478	36 681	7 449
1999	0.1698	28 598	135 135	32 709	211 294	37 284	3 174
2000		34 973	148 551	44 602	222 664	44 767	

* I. McQuinn, comm. pers. / *pers. comm.*

** Biomasse du Stock Reproducteur / *Spawning Stock Biomass:* *** Nombre du Stock Reproducteur / *Spawning Stock Number*

Tableau 3. Résultats des projections à long terme (moyennes) réalisées dans un contexte d'Approche de Précaution (modèles GÉNÉRAL, OPANO et CIEM) pour les harengs du groupe reproducteur de printemps de la division 4R de l'OPANO.

Table 3. Results (averages) of the long-term projections realized in a Precautionary Approach context (GENERAL, NAFO and ICES models) for the Spring-spawning herring of NAFO Division 4R.

ANNÉE / *YEAR*	GÉNÉRAL / *GENERAL*		OPANO / *NAFO*		CIEM / *ICES*	
	BSR / *SSB (t)**	RENDEMENT / *YIELD (t)***	BSR / *SSB (t)**	RENDEMENT / *YIELD (t)***	BSR / *SSB (t)**	RENDEMENT / *YIELD (t)***
2000	28 319	482	28 149	23	28 355	255
2001	41 517	1 472	41 501	431	41 443	1 472
2002	53 497	2 816	54 309	1 240	53 189	3 019
2003	64 510	4 426	66 631	2 340	63 998	4 888
2004	73 068	5 926	77 404	3 588	72 476	6 532
2005	79 727	7 181	86 209	4 817	78 788	7 840
2006	82 160	7 639	89 253	5 296	81 163	8 198
2007	85 812	8 316	92 399	5 860	83 690	8 745
2008	86 984	8 570	94 212	6 156	84 708	8 979
2009	85 815	8 415	94 025	6 067	84 011	8 824
2010	85 216	8 352	93 721	6 020	83 338	8 734
2011	84 833	8 307	93 327	5 989	82 794	8 650
2012	83 669	8 166	92 635	5 957	82 323	8 581
2013	82 996	8 052	91 954	5 922	81 801	8 496
2014	82 994	8 016	91 515	5 877	81 410	8 420
2015	82 546	7 937	91 044	5 851	81 532	8 391
2016	82 597	7 911	91 068	5 842	81 918	8 411
2017	82 832	7 956	90 735	5 787	81 792	8 409
2018	83 000	7 995	90 466	5 733	82 040	8 447
2019	83 399	8 054	90 643	5 748	82 209	8 477
2020	83 572	8 079	90 504	5 747	81 844	8 454
2021	83 133	8 039	90 719	5 771	81 834	8 479
2022	83 105	8 004	91 185	5 827	81 236	8 416
2023	83 070	7 989	90 883	5 788	81 022	8 384
2024	83 407	8 028	90 659	5 775	81 368	8 404
2025	83 895	8 076	90 482	5 769	81 540	8 422
2026	83 740	8 080	90 205	5 721	81 397	8 394
2027	82 822	7 980	90 099	5 694	81 521	8 392
2028	83 374	8 046	89 940	5 682	81 965	8 440
2029	84 088	8 133	89 947	5 680	82 272	8 469
2030	84 029	8 145	90 292	5 688	82 396	8 523
2031	83 371	8 069	90 496	5 711	82 518	8 541
2032	83 512	8 079	90 665	5 729	82 380	8 513
2033	83 472	8 065	90 676	5 745	82 330	8 528
2034	83 825	8 113	90 332	5 732	82 269	8 533
2035	83 227	8 078	90 007	5 695	81 920	8 474

* BSR = Biomasse du Stock Reproducteur / *Spawning Stock Biomass;* ** Pour les âges 6 à 9 / *For ages 6 to 9*

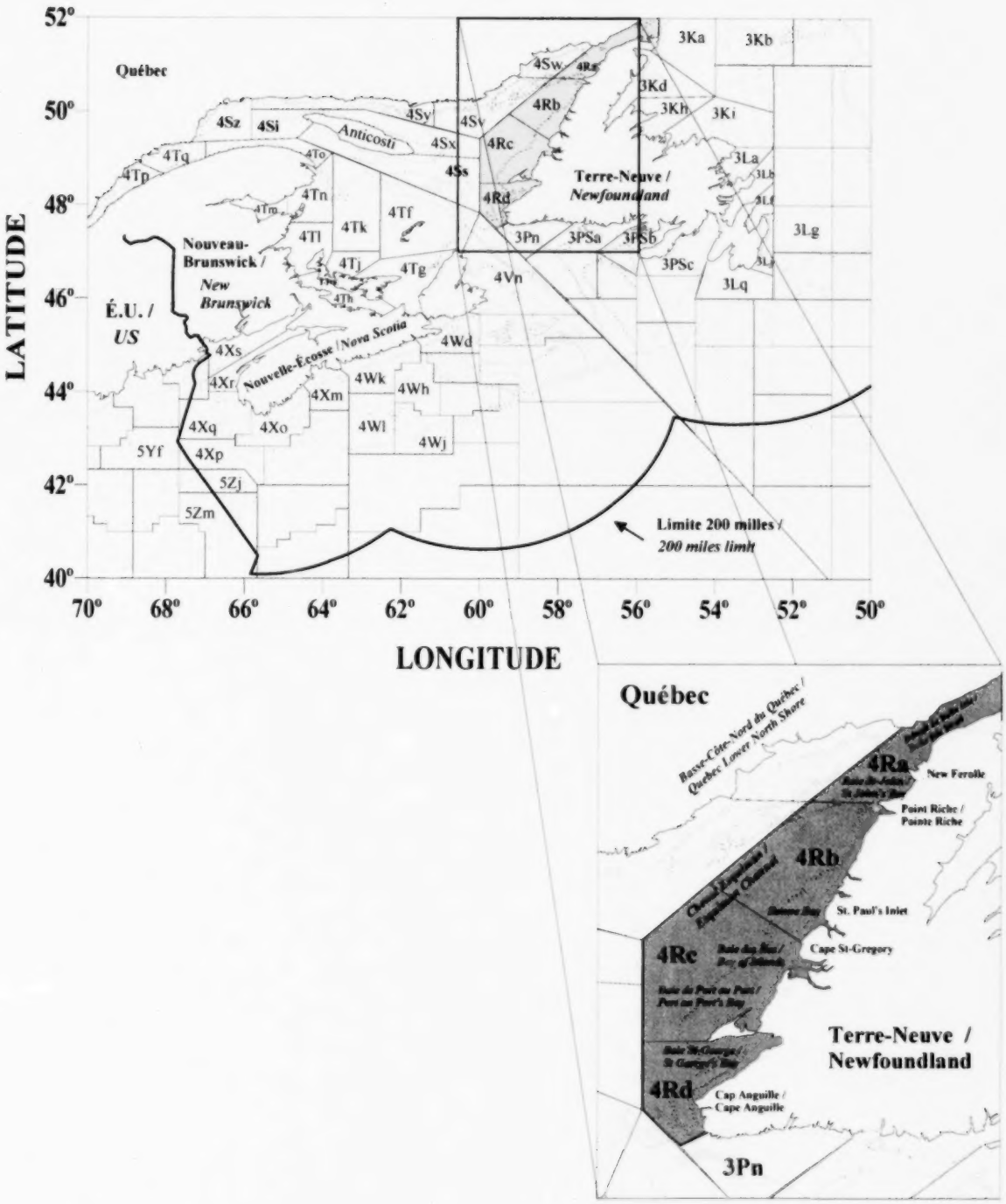


Figure 1. Carte des principales divisions, sous-divisions et zones unitaires de l'OPANO de la côte ouest de Terre-Neuve (la division 4R est représentée par la zone colorée) /

Map of the principal NAFO divisions, subdivisions and unit areas of the West Coast of Newfoundland (division 4R is represented by the coloured area).

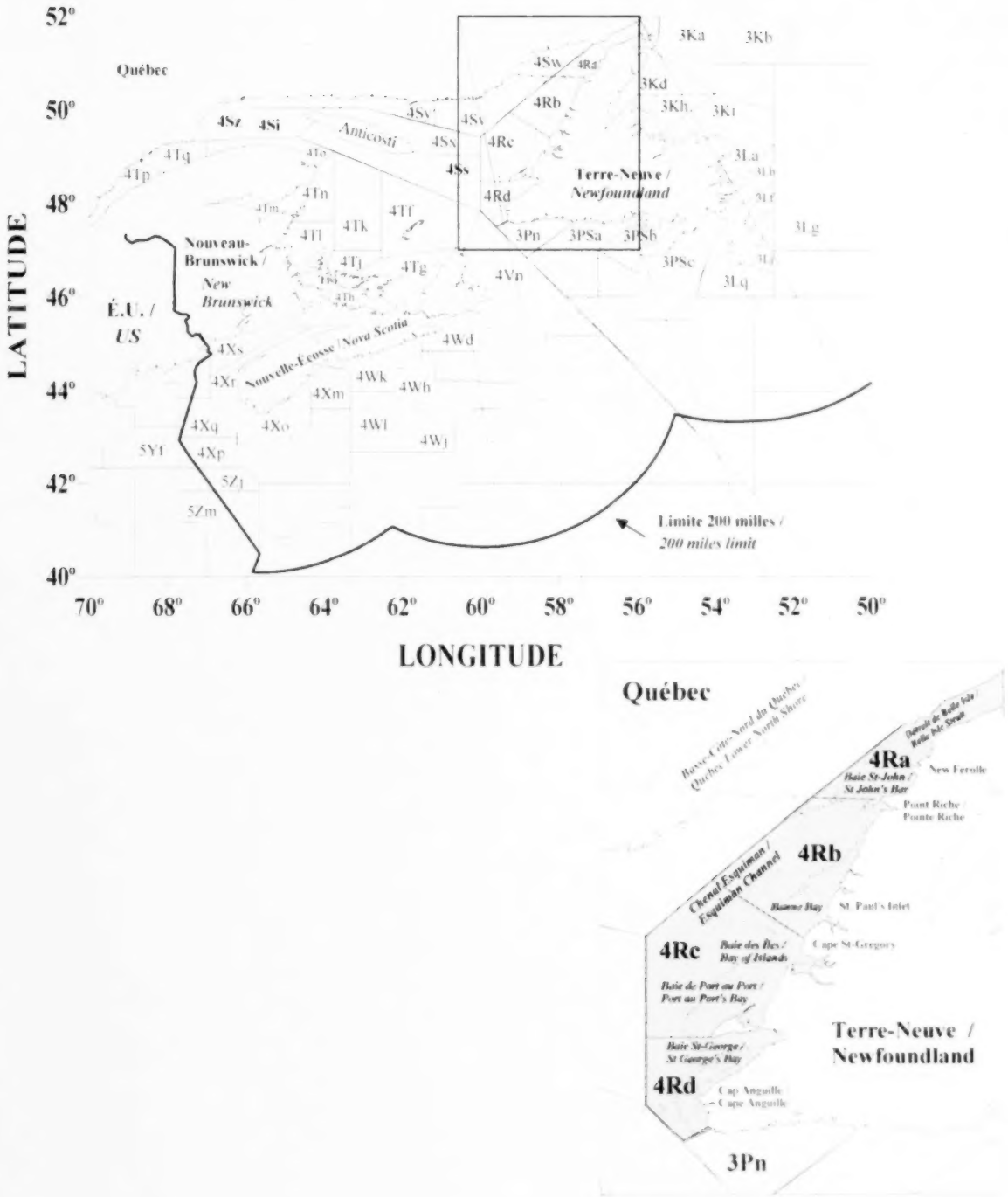


Figure 1. Carte des principales divisions, sous-divisions et zones unitaires de l'OPANO de la côte ouest de Terre-Neuve (la division 4R est représentée par la zone colorée) /

Map of the principal NAFO divisions, subdivisions and unit areas of the West Coast of Newfoundland (division 4R is represented by the coloured area).

APPROCHE DE PRÉCAUTION: MODÈLE GÉNÉRAL /
PRECAUTIONARY APPROACH: GENERAL MODEL

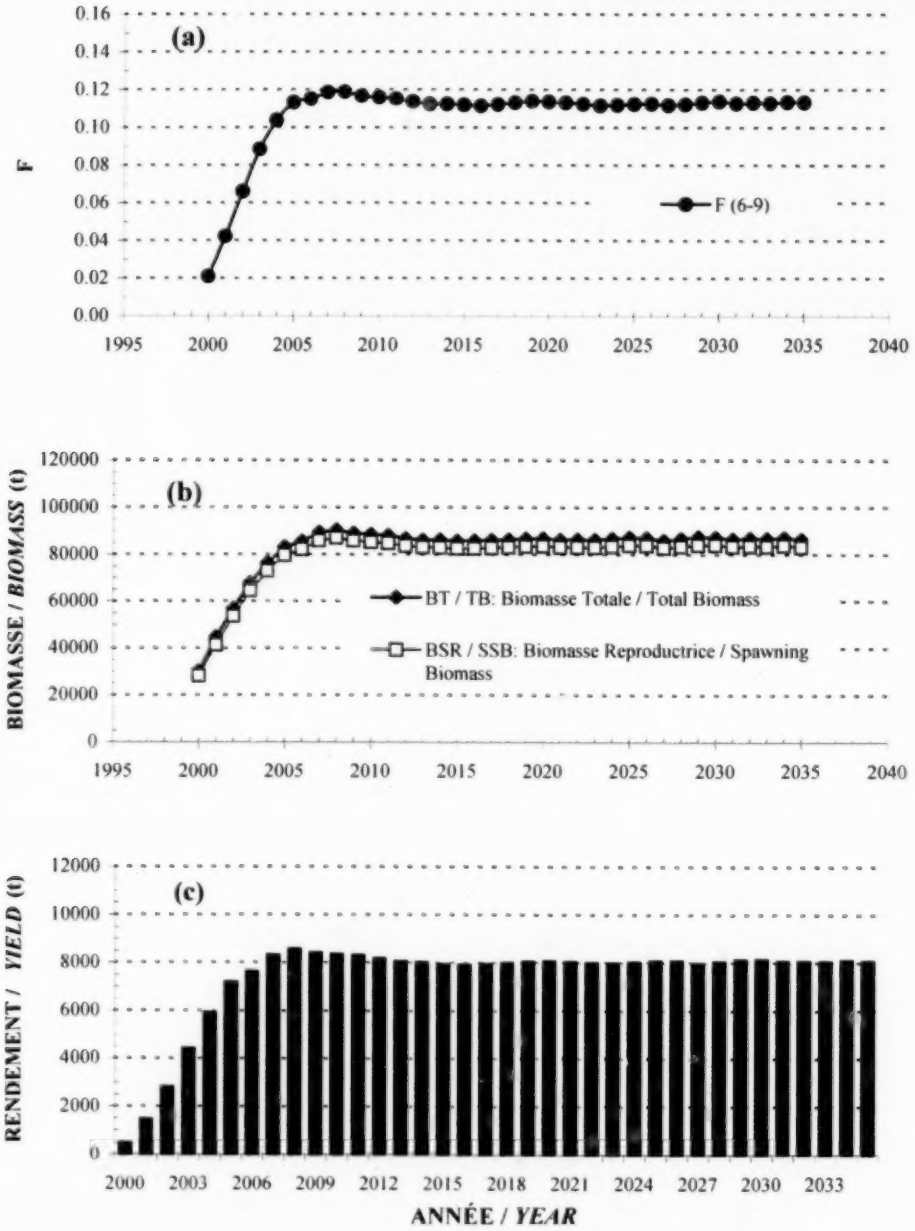


Figure 2. Valeurs prédites (moyennes) du taux instantané de mortalité par la pêche (a), des biomasses totales et reproductrices (t) (b) et du rendement (t) (c) pour les années 2000 à 2035 et statistiques calculées par période de 12 ans (d) : Modèle GÉNÉRAL / *Predicted values (averages) for the instantaneous rates of fishing mortality (a), total and spawning biomasses (t) (b) and yield (t) (c) for the years 2000 to 2035 and statistics calculated by 12-year period (d): GENERAL model.*

APPROCHE DE PRÉCAUTION: MODÈLE GÉNÉRAL / *PRECAUTIONARY APPROACH: GENERAL MODEL*

(d)

VARIABLES	2000-2011		2012-2023		2024-2035	
	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*
F (6-9)	0.095	0.034	0.113	0.001	0.113	0.001
BT / *TB (t)*	74 161	20 194	86 335	340	86 853	434
BSR / *SSB* (t)	70 955	19 845	83 076	343	83 563	366
REND. / *YIELD (t)*	5 992	2 959	8 016	69	8 074	45

Figure 2. (Suite / *Continued*)

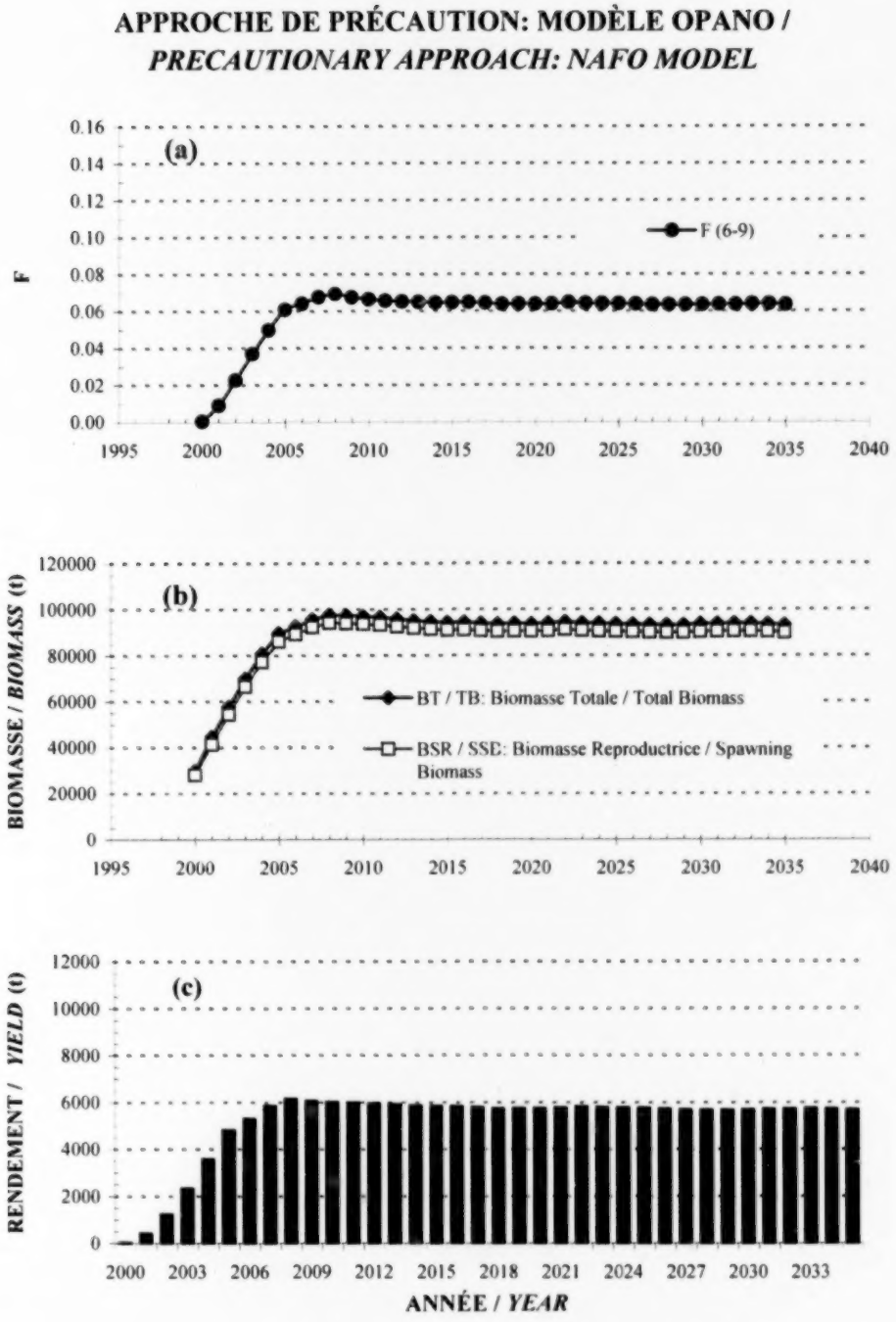


Figure 3. Valeurs prédites (moyennes) du taux instantané de mortalité par la pêche (a), des biomasses totales et reproductrices (t) (b) et du rendement (t) (c) pour les années 2000 à 2035 et statistiques calculées par période de 12 ans (d) : Modèle OPANO / *Predicted values (averages) for the instantaneous rates of fishing mortality (a), total and spawning biomasses (t) (b) and yield (t) (c) for the years 2000 to 2035 and statistics calculated by 12-year period (d): NAFO model.*

APPROCHE DE PRÉCAUTION: MODÈLE OPANO / *PRECAUTIONARY APPROACH: NAFO MODEL*

(d)

VARIABLES	2000-2011		2012-2023		2024-2035	
	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*
F (6-9)	0.048	0.025	0.064	0.000	0.064	0.000
BT / *TB (t)*	79 159	23 448	94 422	652	93 600	296
BSR / *SSB* (t)	75 928	23 080	91 113	644	90 317	280
REND. / *YIELD (t)*	3 985	2 371	5 821	72	5 718	33

Figure 3. (Suite / *Continued*)

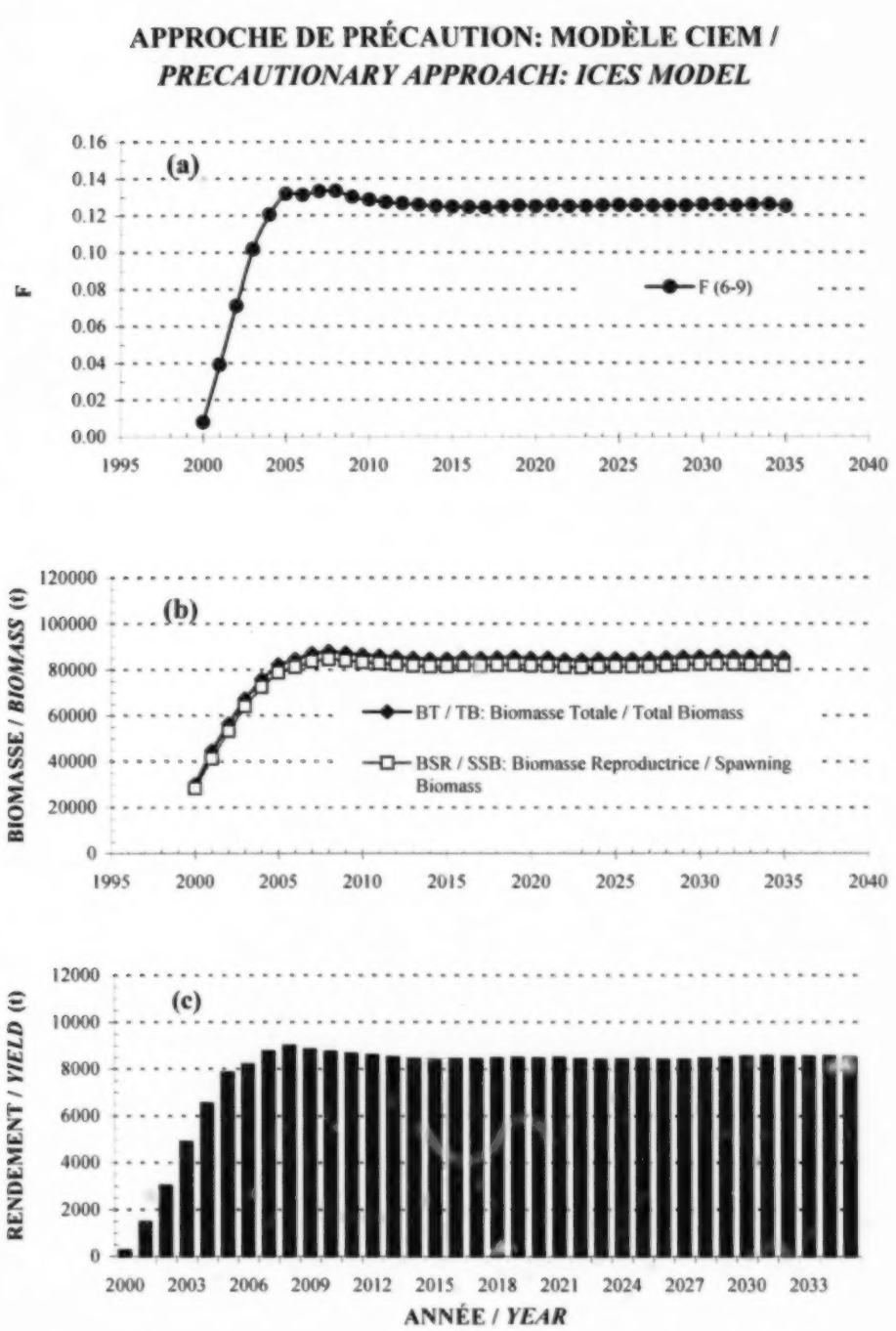


Figure 4. Valeurs prédites (moyennes) du taux instantané de mortalité par la pêche (a), des biomasses totales et reproductrices (t) (b) et du rendement (t) (c) pour les années 2000 à 2035 et statistiques calculées par période de 12 ans (d) : Modèle CIEM / *Predicted values (averages) for the instantaneous rates of fishing mortality (a), total and spawning biomasses (t) (b) and yield (t) (c) for the years 2000 to 2035 and statistics calculated by 12 year-period (d): ICES model.*

APPROCHE DE PRÉCAUTION: MODÈLE CIEM / *PRECAUTIONARY APPROACH: ICES MODEL*

(d)

VARIABLES	2000-2011		2012-2023		2024-2035	
	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*	Moy. / *Aver.*	É.-T. / *STD*
F (6-9)	0.105	0.042	0.125	0.001	0.125	0.000
BT / *TB (t)*	73 017	19 463	85 000	414	85 273	438
BSR / *SSB* (t)	69 829	19 111	81 747	385	81 990	430
REND. / *YIELD (t)*	6 345	3 156	8 447	56	8 469	58

Figure 4. (Suite / *Continued*)

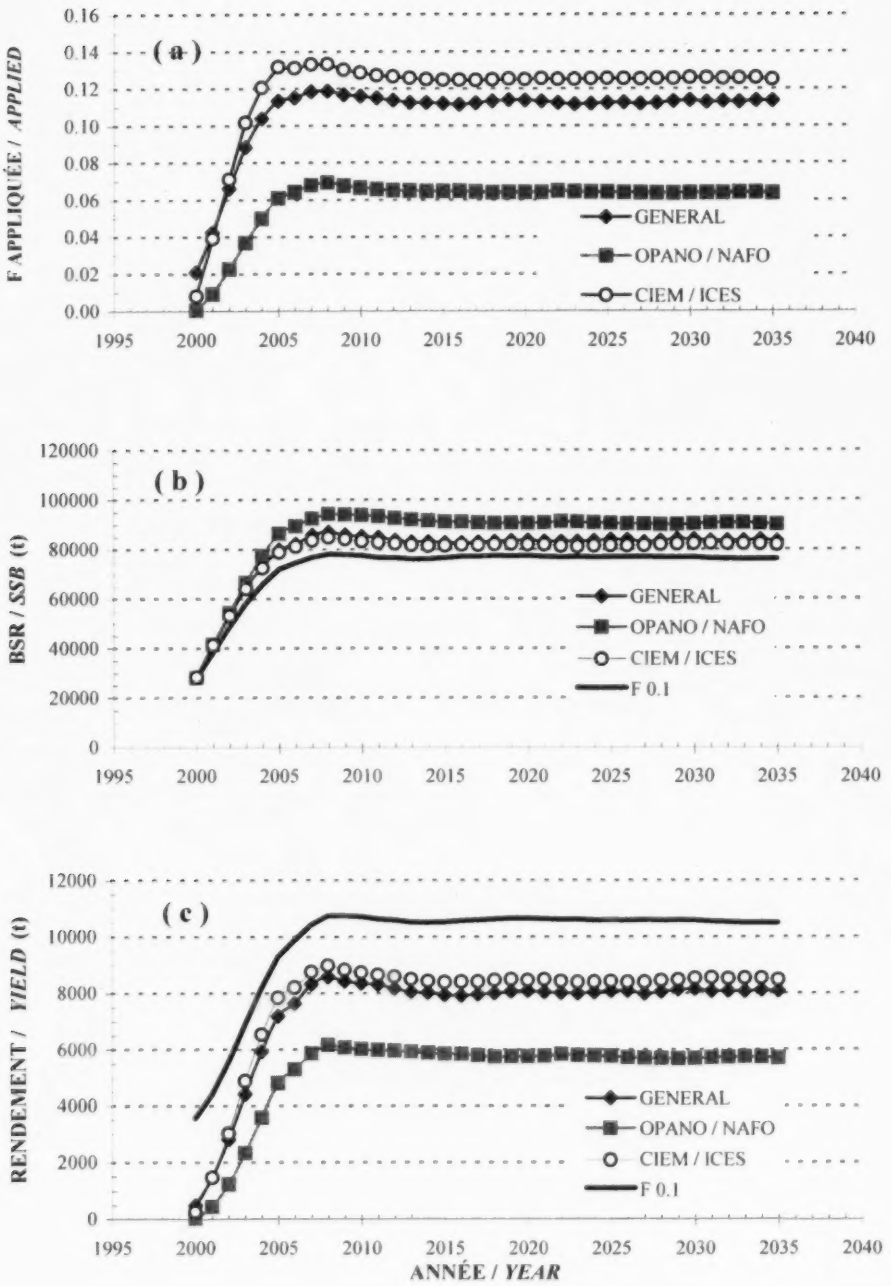


Figure 5. Comparaisons des projections à long terme selon trois stratégies de captures réalisées dans un contexte d'Approche de Précaution: (a) F appliquée, (b) biomasse reproductrice (t) et (c) rendements (t) (les biomasses et rendements associés au niveau $F_{0.1}$ sont aussi présentés) / *Comparisons of the long-term projections according to three catch strategies realized in a Precautionary Approach context: (a) applied F, (b) spawning biomass (t), and (c) yield (t) (biomasses and yields associated to the* $F_{0.1}$ *level are also indicated).*

Annexe 1. Biomasse et recrutement moyens calculés par quartile pour le hareng de la côte ouest de Terre-Neuve (groupe reproducteur de printemps).

Appendix 1. Mean biomass and recruits calculated per quartile for the west coast of Newfoundland herring (spring spawner group).

	ANNÉE / *YEAR*	RECRUES / *RECRUITS* (4 ans / *year*)	BIOMASSE REPRODUCTRICE / *SPAWNING BIOMASS* (t)		MOYENNE PAR QUARTILE / *AVERAGE PER QUARTILE* RECRUES / *RECRUITS*	BIOMASSE / *BIOMASS* (t)
QUARTILE I	**1996**	44602	34269	QUARTILE I		
	1965	52407	43357			
	1995	32709	45951			
	1983	63165	51764			
	1966	103938	53611			
	1994	56577	54979			
	1982	297413	57443			
	1993	2945	58808			
					81719	**58904**
QUARTILE II	**1992**	7622	58936	QUARTILE II		
	1968	534697	60579			
	1969	224960	61816			
	1967	49168	66873			
	1981	56035	69879			
	1984	48950	77573			
	1970	40376	81955			
	1971	9228	85156			
					121379	**86609**
QUARTILE III	**1991**	18866	88061	QUARTILE III		
	1985	36441	97948			
	1980	247623	98275			
	1990	78643	101320			
	1979	51335	108042			
	1989	38978	113766			
	1978	12352	123434			
	1977	12284	127494			
					62065	**128053**
QUARTILE IV	**1988**	27198	129731	QUARTILE IV		
	1976	10408	135306			
	1987	94150	144637			
	1986	17406	148108			
	1972	22244	157328			
	1975	21211	166416			
	1974	94781	182772			
	1973	16226	189146			
					37953	**189146**